

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 24 APR 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 35 371.9

Anmeldetag:

02. August 2002

Anmelder/Inhaber:

ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen
Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen
Schwingspiegelvorrichtung

IPC:

B 81 C, B 81 B, G 02 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 19. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingspiegelvorrichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingspiegelvorrichtung, durch Freilegen eines vertikal auslenkbaren, insbesondere verkippbaren, Inselbereiches aus Silizium mittels eines Ätzprozesses in einer unter dem Inselbereich liegenden Siliziumsubstratschicht.

Ein derartiges Verfahren ist bereits sowohl aus der Offenlegungsschrift DE 197 57 197 A1 wie aus der Patentschrift US 5,198,390 bekannt, auf die weiter unten noch näher eingegangen wird.

Obwohl auf beliebige mikromechanische Vorrichtungen und Strukturen, insbesondere optische Schalter und Lichtmodulatoren für Displays, anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die ihr zu Grunde liegende Problematik in Bezug auf eine in der Technologie der Silizium-Oberflächenmikromechanik herstellbare mikromechanische Schwingspiegelvorrichtung erläutert.

Mikromechanische Schwingspiegelvorrichtungen werden beispielsweise in der integrierten Optik eingesetzt, um den Weg von Lichtstrahlen zwischen einzelnen oder in einem Array angeordneten Lichtwellenleitern (optischen Fasern) umzuschalten. Derartige Schwingspiegelvorrichtungen sind in verschiedenen Designvarianten bekannt und verfügen über einen steuerbaren - im Spiegel integrierten oder neben dem Spiegel auf dem gleichen Chip angeordneten - Antrieb, der die Verkippbewegungen der Spiegeloberfläche und damit die optischen Schaltvorgänge generiert.

Diese Verkipfbewegungen, bei denen der bewegliche, mikromechanisch freigelegte Teil der Schwingspiegelvorrichtung, also der Inselbereich – dessen Oberseite die Spiegeloberfläche bildet –, Torsionsschwingungen ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, dass ein Teil des Inselbereiches in den freigeätzten Bereich der Siliziumsubstratschicht hineinragt, setzen, je nach der Größe des gewünschten Kippwinkels, einen tiefgehenden Freiraum unter dem Inselbereich voraus. Der freigeätzte Bereich muss natürlich auch lateral mindestens die Abmessungen des Inselbereiches aufweisen.

Große Auslenkungen senkrecht zur Chipfläche, wie sie für Schwingspiegelvorrichtungen oder andere optische Bauelemente in der Mikromechanik (optical MEMS) erforderlich sind, können bisher nicht in Oberflächenmikromechanik hergestellt werden, da die üblichen eingesetzten Opferschichten bzw. Ätztechniken nur die Bewegung der freigelegten Strukturen um wenige Mikrometer senkrecht zu Oberfläche, entsprechend einem für viele Anwendungen zu geringen Kippwinkel von nur wenigen Grad, erlauben.

Optische Bauelemente mit großen vertikalen Auslenkungen, insbesondere Schwingspiegelvorrichtungen, werden deshalb derzeit, wie beispielsweise aus der oben zitierten DE 197 57 197 A1 bekannt, meist dadurch erzielt, dass die Spiegelstrukturen von der Wafer-Vorderseite strukturiert und mit Methoden der Volumen- (Bulk) Mikromechanik von der Rückseite der Träger-substrate gelöst werden. Dabei wird in der Regel SOI-Material verwendet und es ist erforderlich, die Siliziumsubstratschicht von der Rückseite her mittels einer anisotropen Nassätzung bis zur oberen Siliziumschicht (bzw. Oxidschicht) durchzuätzen, während das laterale Freilegen des Inselbereiches – vor oder nach der Nassätzung – durch ein Trockenätzverfahren erfolgt.

35

Ein Vorderseiten-Tiefenätzverfahren, mit dem mikromechanische Strukturen lateral und vertikal freilegbar sind, ist aus der

eingangs genannten US 5,198,390 bekannt. Der dortige, so genannte SCREAM-Prozess (single crystal reactive etch and metallization process) geht von einem einheitlichen, also nicht in separate Funktions- und Opferschichten unterteilbaren, einkristallinen Silizium-Wafer aus, bei dem alle Strukturierungs- und Tiefenätz-Schritte durchgehend mittels reaktivem Ionen-Ätzen (RIE) vorgenommen werden. Dabei wird zunächst die Ätzmaske durch RIE-Ätzen strukturiert, anschließend werden die entsprechenden Grabenstrukturen im Wafer durch RIE-Tiefenätzen erzeugt, dann wird durch selektives Maskieren der Seitenwände der Gräben die freizulegende Struktur definiert, und schließlich wird der Substratbereich unterhalb der selektierten (Insel)Struktur durch vollständiges Unterätzen mittels RIE freigelegt. Der SCREAM-Prozess zeichnet sich einerseits durch eine hohe Prozesseinheitlichkeit aus, andererseits erfolgt das Unterätzen mit einer prozesstypisch geringen Ätzrate, die sich insbesondere bei breiten selektierten (Insel)Strukturen negativ auswirkt. Besonders problematisch im Hinblick auf Anwendungen insbesondere bei Schwingungsspiegelvorrichtungen erscheint die Tatsache, dass die - ungeschützte - Unterseite der selektierten (Insel)Struktur beim Unterätzen des darunter liegenden Bereiches des Siliziumssubstrats zum Teil erheblich mit angegriffen wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Herstellungsverfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das sich insbesondere auf oberflächenmikromechanische Prozessschritte beschränkt.

Ein Verfahren der eingangs genannten Art löst diese Aufgabe durch die Schritte:

- Bereitstellen eines SOI- oder EOI-Substrats mit einer Si-Funktionsschicht, welche unter Zwischensetzen einer Oxidschicht auf einer Siliziumsubstratschicht vorgesehen ist, deren oberer Bereich als Opferschicht vorgesehen ist ;
- Bilden mindestens eines durch die Funktionsschicht bis zur Oxidschicht reichenden Grabens durch einen ersten a-

nisotropen Plasmaätzschritt, der den späteren Inselbereich lateral gegenüber der Funktionsschicht freilegt ;

- Erzeugung einer mindestens die Seitenwände des Grabens bedeckenden Passivierungsschicht und anschließendes Öffnen des Grabenbodens bis zur Siliziumsubstratschicht durch ein physikalisches gerichtetes Ätzverfahren ;
- Tiefenätzen des Grabens mit einem zweiten anisotropen Plasmaätzschritt vom geöffneten Grabenboden aus bis in eine vorbestimmte Tiefe der Siliziumsubstratschicht, wobei dieser Plasmaätzschritt die Tiefe der Opferschicht definiert ; und
- Durchführen eines isotropen Opferschichtätzschrittes zum Entfernen eines Bereiches der Opferschicht unter dem Inselbereich durch laterales, vom Graben ausgehendes Unterätzen der Siliziumsubstratschicht, derart, dass der Inselbereich freigelegt und vertikal beweglich gemacht wird.

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht zunächst darin, von der Vorderseite eines SOI- bzw. EOI (Epipoly on insulator)-Substrats aus in zwei aufeinander folgenden, getrennten Tiefenätzschritten bis in die gewünschte Tiefe der Siliziumsubstratschicht vorzudringen und diese teilweise - genauer: in ihrem oberen, oxidschichtnahen Bereich - als Opferschicht zum vertikalen Freilegen der oberhalb der Oxidschicht in der Funktionsschicht positionierten Inselstrukturen zu verwenden. Das erfindungsgemäße Konzept eines Opferschichtprozesses zur Erzeugung großer vertikaler Auslenkungen basiert auf rein oberflächenmikromechanischen Prozessschritten.

Gemäß der Erfindung wird in einem ersten Schritt eine (Spiegel)struktur mit einem Tiefenätzverfahren in SOI bzw. EOI erzeugt. Hierfür kann jedes für die Funktionsschicht geeignete anisotrope Plasmaätzverfahren eingesetzt werden, bevorzugt jedoch das aus der Patentschrift DE 42 41 045 C 1 bekannte fluorbasierte Si-Tiefenätzenverfahren, welches alternierend

aufeinander folgende getrennte Ätz- und Polymerisationsschritte umfasst. Nähere Einzelheiten können dieser Patentschrift entnommen werden. Der Ätzstopp findet auf der Oxidschicht statt.

5

Nach dem ersten Tiefenätzschritt wird die (Spiegel)Struktur mit einer weiteren Schicht passiviert. Die Passivierung wird in den Strukturgräben der (Spiegel)struktur geöffnet. Es folgt ein zweiter Tiefenätzschritt, mit dem die Opferschicht – hier: der oxidschichtnahe, obere Bereich der Siliziumsubstratschicht – in die Tiefe erschlossen wird. Die Tiefe der Opferschicht wird also erfindungsgemäß im Wesentlichen (d. h. bis auf die bei den involvierten Ätzungen prozesstypisch auftretenden Ungenauigkeiten) durch einen definierten zweiten Tiefenätzprozess eingestellt. Um die (Spiegel)Struktur vollständig zu lösen, schließt sich ein isotroper lateraler Trockenätzschritt an.

Die Erfindung ermöglicht die Verwendung bekannter Prozesse der Halbleitertechnologie und eine durchgängige Vorderseiten-Prozessierung um mikromechanische Vorrichtungen zu realisieren, die große Auslenkungen mit einer Bodenfreiheit von ca. 1 bis 200 μm zulassen. Des Weiteren ist eine hohe Prozesskontrolle, insbesondere eine exakte Tiefeneinstellung auf $\pm 5\%$, möglich. Ein besonderer Vorteil des Verfahrens sind die hohen vertikalen und lateralen Ätzraten.

Eine durch die Verwendung von EOI-Substrat gegebene gute Kontrolle des Stressgradienten (Spiegeloberseite/-unterseite) in der Funktionsschicht ermöglicht eine hohe Auflösung bzw. eine einstellbare Wölbung der Spiegeloberfläche in optischen Systemen. Ferner sind erfindungsgemäß relativ dünne Spiegel (Größenordnung: $< 10 \mu\text{m}$, im Vergleich zu $50 \mu\text{m}$ Dicke der Funktionsschicht bei von der Wafer-Rückseite her durchgeätzten Substraten) möglich (Epipoly, LPCVD-Si, Oxidschichten oder Metallschichten als ursprüngliches, bzw. nachträglich als weitere Schicht(en) abgeschiedenes, Spiegelmaterial). Auf

Grund dieser geringen Dicke des Spiegels und der dementsprechend geringen Masse können hohe Eigenfrequenzen und damit eine hohe Schaltgeschwindigkeit optischer Bauelemente erreicht werden.

5

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Kombination des erfindungsgemäßen Opferschichtprozesses mit weiteren Herstellungsschritten, beispielsweise zur Erzeugung von weiteren Funktionsebenen ober- oder unterhalb der Spiegelstrukturebene und zusätzlicher Opferschichttechnik (z. B. Gasphasenätzen von Oxiden), etwa für die Herstellung von Antriebsstrukturen (z. B. Elektroden) in zweiter Epipoly-Strukturebene bzw. von dünnen Torsionsfedern. Das Verfahren gemäß der Erfindung kann Teil eines komplexen Gesamtprozesses sein, in welchem im Substrat zum Beispiel vergrabene Leiterbahnen und/oder weitere Halbleiterstrukturen erzeugt werden.

15

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in Anspruch 1 angegebenen Herstellungsverfahrens.

20

Gemäß einer besonders bevorzugten Weiterbildung erfolgt der Opferschichtätzschritt selektiv zur Passivierungsschicht und zur Oxidschicht. Dies hat entscheidende Vorteile für die Präzisionseigenschaft des Prozesses. Zum einen können dünne Spiegelstrukturen erzeugt werden, da diese im folgenden Opferschichtätzschritt nicht angegriffen, d. h. nicht verbraucht werden. Diese inerten Eigenschaften sind insbesondere auch beim Herstellen relativ großer (2-3 mm) Inselbereiche wichtig, da der isotrope Gasphasenätzschritt, ausgehend von einem einzigen peripheren Graben, eine nicht vernachlässigbare Zeit braucht, um sich bis zur Mitte des zu erzeugenden Freiraums vorzuarbeiten.

25

30

Um diese Zeit zu verkürzen, bzw. um die passivierten Funktionsstrukturen keinem allzu lang andauernden Ätzangriff auszusetzen, ist es vorteilhaft, dass innerhalb des Inselbereiches

35

weitere Grabenstrukturen vorgesehen und bis in Opferschichttiefe geätzt werden, so dass der Opferschichtätzschritt gleichzeitig von allen Gräben ausgehend – schneller – durchführbar ist. Auf Grund der Passivierungsschicht und der hohen isotropen Ätzraten sind, im Vergleich zum SCREAM-Verfahren, jedenfalls vorteilhafterweise erheblich weniger derartige Perforationslöcher erforderlich.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens besteht in der Herstellung einer mikromechanischen Schwingungsvorrichtung. Dabei ist der Inselbereich über einen oder mehrere Verbindungsstege mit dem den Inselbereich umgebenden Bereich der Funktionsschicht verbunden, so dass der freigelegte Inselbereich um den einen oder die mehreren Verbindungsstege Bewegungen, vorzugsweise Torsionsschwingungen, ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, dass ein Teil des Inselbereiches in den freigeätzten Bereich der Siliziumsubstratschicht hineinragt.

Diese Ausgestaltung kann noch weiter verbessert werden, indem oberhalb des Grabens und der weiteren, als Perforationslöcher ausgebildeten, Grabenstrukturen mindestens eine weitere, insbesondere die Reflektivität der Spiegeloberfläche verbessernde, Schicht derart abgeschieden wird, dass die Perforationslöcher verschlossen werden, nicht aber der den Inselbereich vom umgebenden Bereich trennende Graben.

Dies kann in besonders vorteilhafter Weise dadurch erreicht werden, dass der den Inselbereich lateral freilegende Graben breiter als die weiteren Grabenstrukturen ausgebildet wird.

Prozesstechnisch ist es gemäß einer weiteren Weiterbildung des Verfahrens vorteilhaft, dass der Opferschichtätzschritt durch chemisches Trockenätzen mit einem der Gase XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 erfolgt.

Die Passivierungsschicht kann, gemäß einer weiteren Weiterbildung, durch CVD-Abscheidung oder durch thermische Oxidation aufgebracht werden.

5 Gemäß einer weiteren Weiterbildung des Verfahrens ist es vorteilhaft, die Passivierungsschicht und/oder die Oxidschicht nach dem Opferschichtätzschritt, insbesondere durch eine chemische Trockenätzung mit dem Gas $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$, wieder zu entfernen.

10 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt

15 Figur 1 A und Figur 2 bis 8 eine schematische Querschnittsdarstellung (Querschnitt entlang AA' in Figur 1 B) des Herstellungsprozesses für eine Schwingspiegelvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung,

20 Figur 1 B eine Draufsicht auf den Schwingspiegel (ohne Antrieb) im Prozessstadium von Figur 1 A.

25 Figur 1 A zeigt beispielshalber eine EOI-Schichtenfolge mit einer Siliziumsubstratschicht 1 (n oder p dotiert, (100) oder (111) orientiert), einer Oxidschicht 2 aus thermischen oder CVD-Oxid, die ca. 50 nm bis 1 μm dick ist, einer Si-Funktionsschicht 3 aus Epipoly (oder, bei SOI, aus Polysilizium), und einer Ätzmaske 4, beispielsweise aus Lack oder Oxid.

30 Figur 1 B zeigt den (in diesem Prozessstadium jeweils nur in der Maskenstruktur 4 vorhandenen) Graben 5, der den Inselbereich 6 von dem umgebenden – unbeweglichen – Bereich 7 der Funktionsschicht 3 abgrenzt. Erkennbar sind ferner Torsionsfedern 8, an denen der Inselbereich 6, also die Spiegelstruktur, aufgehängt ist. Dadurch ist die Drehachse für den späteren Schwingspiegel definiert. Als Torsionsfedern 8 können

35

Verbindungsstege, also schmale stehengelassene Bereiche der Funktionsschicht 3 verwendet werden.

Die Oberseite der Spiegelstruktur 6 kann, wie ebenfalls aus
5 den Figuren 1 A und 1 B hervorgeht, je nach lateraler Ausdehnung, mit mehr oder weniger vielen Perforationslöchern 9 versehen werden, auf die weiter unten bei der Beschreibung von Figur 8 noch näher eingegangen wird. Wenn derartige Perforationslöcher 9, also weitere (zukünftige) Grabenstrukturen,
10 vorgesehen werden, so werden sie im Folgenden in die gleichen Tiefenätz- bzw. Passivierungsschritte einbezogen, wie der zu erzeugende Graben 5.

Das Ergebnis des nächsten Prozessschrittes, also nach Erfolgen des ersten anisotropen Plasmaätzschrittes, ist in Figur 2
15 gezeigt und lässt die in der Funktionsschicht 3 erzeugten Grabenstrukturen 5 und 9 erkennen. Dieser Ätzprozess verläuft selektiv zu Oxid und stoppt abrupt an der Oxidschicht 2. Der äußere Graben 5, der den beweglichen Inselbereich 6 von den
20 feststehenden umgebenden Bereichen 7 separiert, sollte geringfügig breiter sein als die Perforationslöcher 9, wie unten, bei Figur 8, näher erläutert wird.

Figur 3 zeigt das Prozessstadium nach Abscheidung einer Passivierungsschicht 10 (auch und gerade in den Grabenstrukturen
5 5 und 9, dort jedoch nicht dargestellt). Diese Passivierungsschicht 10 wird bei einem nachfolgenden Opferschichtätzschritt, beispielsweise mit mindestens einen der Gase XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 , nicht oder nur in sehr geringem Maß angegriffen. Die Abscheidung erfolgt bevorzugt mit an sich bekannten Verfahren, wie thermische Oxidation, LPCVD (low pressure), PECVD (Plasma enhanced chemical vapour deposition) oder auch Ozon-unterstützte TEOS-Abscheidung. Außer der typischen Siliziumoxid-Passivierungsschicht können auch andere
30 anorganische Passivierungsschichten verwendet werden (zum Beispiel Metalle, Nitride SiC , etc.), die eine ausreichende, stetige und im Idealfall homogene Kantenbedeckung im Bereich

der Seitenwand aufweisen und in einem späteren Schritt selektiv gegenüber dem Inselbereich 6 geätzt werden können.

Bei der Wahl der in Frage kommenden Abscheideverfahren ist in jedem Fall darauf zu achten, dass in den Böden der Ätzgräben 5 und 9 nur eine geringe, später mit relativ geringem Aufwand wieder entfernbare, Deposition stattfindet.

Figur 4 zeigt das nächste Prozessstadium, nachdem im Bereich der Grabenböden die Oxidschicht 2 (und die Passivierungsschicht 10) durch ein physikalisches gerichtetes Ätzverfahren geöffnet wurden, derart, dass Öffnungen 11 zur Siliziumsubstratschicht 1 hin entstehen. Bei dieser Ätzung ist darauf zu achten, die Seitenwandpassivierung nicht zu zerstören. Diese Forderung kann durch ein RIE oder ein anderes Verfahren mit einer geeigneten, senkrecht zur Wafer-Oberfläche wirkenden Plasmaführung, erfüllt werden.

Figur 5 zeigt das Verfahrensstadium, nachdem der Graben 5 und die weiteren Grabenstrukturen 9 mit einem zweiten anisotropen Plasmaätzschritt in die gewünschte Tiefe d geätzt wurden, wobei durch diese Tiefe d im Wesentlichen die Tiefe des anschließenden (vgl. Figur 6) Opferschichtätzprozesses vorgegeben wird.

Figur 6 zeigt das Prozessstadium, in welchem durch einen isotropen Silizium-Ätzschritt die Grabenstruktur 5 und 9 lateral geätzt wird. Durch die eingebrachte Passivierungsschicht 10 und die Oxidschicht 2 bleibt die Spiegelstruktur 6 trotz des massiven Unterätzens der Siliziumsubstratschicht 1 unversehrt. Der Ätzprozess kann beispielsweise mit den Gasen XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 im Wege des Gasphasenätzens mit relativ hoher Ätzrate durchgeführt werden. Die Pfeile in Figur 6 deuten das Eindringen von XeF_2 bis in die Tiefe d der Siliziumsubstratschicht 1 an. Bei großen lateralen Breiten (2 bis 3 mm) der Inselstruktur 6 ist es vorteilhaft, wenn diese durch

einen sich von mehreren Grabenstrukturen 5 und 9 gleichzeitig ausbreitenden Ätzprozess freigelegt wird.

5 Durch den isotropen Ätzprozess wird ein definierter Bereich 12 unterhalb des Inselbereiches 6 entfernt. Prinzipiell kann der Inselbereich 6 nunmehr in die dabei in der Siliziumsubstratschicht 1 zurückgelassene Ausnehmung hinein ausgelenkt werden. Dies bringt keine Probleme hinsichtlich der mechanischen Stabilität mit sich, da, selbst bei einer Äztiefe d
10 von 200 μm , die Siliziumsubstratschicht 1, die ca. 600-700 μm dick ist, mit ausreichender Substanz erhalten bleibt.

15 Bei Bedarf ist es, wie in Figur 7 dargestellt, ohne weiteres möglich, die Passivierungsschicht 10 (und die Oxidschicht 2) nach dem isotropen Silizium-Opferschichtätzschritt mit einem bekannten Verfahren, beispielsweise einer chemische Trockenätzung mit dem Gas $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$, wieder zu entfernen. Dies ist durch die Pfeile in Figur 7 angedeutet.

20 Ebenso ist es, wie in Figur 8 dargestellt, bei Bedarf möglich, eine oder mehrere zusätzliche Schichten 13 auf der – gegebenenfalls noch durch die weiteren Grabenstrukturen 9 perforierten – Spiegelfläche, also auf der Oberseite des Inselbereiches 6, abzuscheiden. Dadurch kann beispielsweise die
25 Reflektivität der Spiegeloberfläche verbessert werden. Als Abscheideprozess wird bevorzugt ein Verfahren gewählt, bei dem eine konforme Kantenbedeckung eintritt (zum Beispiel LPCVD von Si oder Ge oder SiGe, oder eine Metallisierung) und bei dem es zum Verschluss 14 der ggf. vorhandenen schmalen
30 Perforationslöcher (Breite < 4 μm) kommt. Beim Design der Spiegelschicht 13 muss darauf geachtet werden, dass der Graben 5, der bewegliche 6 von festen Strukturen 7 trennt, breiter ist als die Perforationslöcher 9. Dadurch kann im Bereich des Grabens 5 ein unerwünschter, die Funktion des Schwing-
35 spiegels 6 beeinträchtigender Verschluss vermieden werden. Für etwaige weitere Oberseiten-Prozessschritte kann demnach

nach bzw. durch die Beschichtung 13 eine geschlossene Spiegeloberfläche angeboten werden.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels beschrieben wurde, ist sie
5 darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

Beispielsweise können an sich bekannte, in den Figuren nicht
10 dargestellte, weitere Prozessschritte vorgesehen werden, um ein als elektrostatischen Antrieb wirkendes Aktorelement zur Bewegung des Schwingspiegels 6 zu realisieren. Dieses Aktorelement kann beispielsweise einen von außen mit einer Spannung beaufschlagbaren Kondensator umfassen, dessen eine Elektrode
15 am Grund der durch den entfernten Bereich 12 zurückgelassenen Ausnehmung, und dessen andere Elektrode von der Unterseite der Inselstruktur 6 gebildet wird. Es ist jedoch auch eine räumliche Trennung von Spiegelement 6 und Aktorelement (auf einem Chip) möglich.

20

Mit dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren lassen sich mikromechanische Schwingspiegel für sehr große Amplituden zum Einsatz in Baulasern, Barcode-Lasern, Raumüberwachung, Sitzbelegungserkennung in Kfz o. ä., herstellen.

25

Schließlich wurde in dem obigen Ausführungsbeispiel eine Spiegelstruktur gezeigt, doch ist die Erfindung auch auf Strukturen anwendbar, bei denen der Inselbereich 6 nicht ein Spiegelement, sondern ein sonstiger mechanischer Aktor, wie
30 zum Beispiel ein Stellglied oder Ähnliches ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingenspiegelvorrichtung, durch Freilegen eines vertikal auslenkbaren, insbesondere verkippbaren, Inselbereiches (6) aus Silizium mittels eines Ätzprozesses in einer unter dem Inselbereich liegenden Siliziumsubstratschicht (1),

gekennzeichnet durch die Schritte:

- 10 - Bereitstellen eines SOI- oder EOI-Substrats mit einer Si-Funktionsschicht (3), welche unter Zwischensetzen einer Oxidschicht (2) auf einer Siliziumsubstratschicht (1) vorgesehen ist, deren oberer Bereich als Opferschicht vorgesehen ist ;
- 15 - Bilden mindestens eines durch die Funktionsschicht (3) bis zur Oxidschicht (2) reichenden Grabens (5) durch einen ersten anisotropen Plasmaätzschritt, der den späteren Inselbereich (6) lateral gegenüber der Funktionsschicht (3) freilegt ;
- 20 - Erzeugung einer mindestens die Seitenwände des Grabens (5) bedeckenden Passivierungsschicht (10) und anschließendes Öffnen des Grabenbodens bis zur Siliziumsubstratschicht (1) durch ein physikalisches gerichtetes Ätzverfahren ;
- 25 - Tiefenätzen des Grabens (5) mit einem zweiten anisotropen Plasmaätzschritt vom geöffneten Grabenboden (11) aus bis in eine vorbestimmte Tiefe der Siliziumsubstratschicht (1), wobei dieser Plasmaätzschritt die Tiefe der Opferschicht definiert ; und
- 30 - Durchführen eines isotropen Opferschichtätzschrittes zum Entfernen eines Bereiches (12) der Opferschicht unter dem Inselbereich (6) durch laterales, vom Graben (5) ausgehendes Unterätzen der Siliziumsubstratschicht (1), derart, dass der Inselbereich (6) freigelegt und vertikal
- 35 beweglich gemacht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass der Opferschichtätzschritt selektiv zur Passivierungsschicht (10) und zur Oxidschicht (2) erfolgt.

5 3. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Schwing-
spiegelvorrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,

- 10 - dass der Inselbereich (6) über einen oder mehrere Verbindungsstege (8) mit dem den Inselbereich (6) umgebenden Bereich (7) der Funktionsschicht (3) verbunden ist,
 - so dass der freigelegte Inselbereich (6) um den einen oder die mehreren Verbindungsstege (8) Bewegungen, vorzugsweise Torsionsschwingungen, ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, dass ein Teil des Inselbereiches (6) in den freigeätzten Bereich (12) der Siliziumsubstratschicht (1) hineinragt.
- 15

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass als Verbindungsstege (8) schmale stehengelassene Bereiche der Funktionsschicht (3) verwendet werden.

20

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des Inselbereiches (6)
25 weitere Grabenstrukturen (9) vorgesehen und bis in Opferschichttiefe geätzt werden, so dass der Opferschichtätzschritt gleichzeitig von allen Gräben (5, 9) ausgehend durchführbar ist.

30 6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass oberhalb des Grabens (5) und der weiteren, als Perforationslöcher ausgebildeten, Grabenstrukturen (9) mindestens eine weitere, insbesondere die Reflektivität der Spiegeloberfläche verbessernde, Schicht (13) derart abgeschieden wird,
35 dass die Perforationslöcher (9) verschlossen werden, nicht

aber der den Inselbereich (6) vom umgebenden Bereich (7) trennende Graben (5).

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
5 dadurch gekennzeichnet, dass der den Inselbereich (6) lateral freilegende Graben (5) breiter als die weiteren Grabenstrukturen (9) ausgebildet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
10 dadurch gekennzeichnet, dass der Opferschichtätzschritt durch chemisches Trockenätzen mit einem der Gase XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Passivierungsschicht (10) durch CVD-Abscheidung oder durch thermische Oxidation aufgebracht wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
20 dadurch gekennzeichnet, dass die Passivierungsschicht (10) und/oder die Oxidschicht (2) nach dem Opferschichtätzschritt, insbesondere durch eine chemische Trockenätzung mit dem Gas $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$, wieder entfernt wird.

Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingspiegelvorrichtung

Vorgeschlagen wird, von der Vorderseite eines SOI/EOI(Epipolyon insulator)-Substrats aus in zwei aufeinander folgenden, getrennten Tiefenätzschritten bis in die gewünschte Tiefe der Siliziumsubstratschicht (1) vorzudringen und diese in ihrem oberen, oxidschichtnahen Bereich als Opferschicht zum vertikalen Freilegen der oberhalb der Oxidschicht (2) in der Funktionsschicht (3) positionierten Inselstrukturen (6) zu verwenden. Das erfindungsgemäße Konzept eines Opferschichtprozesses zu Erzeugung großer vertikaler Auslenkungen basiert auf rein oberflächenmikromechanischen Prozessschritten.

Figur 8

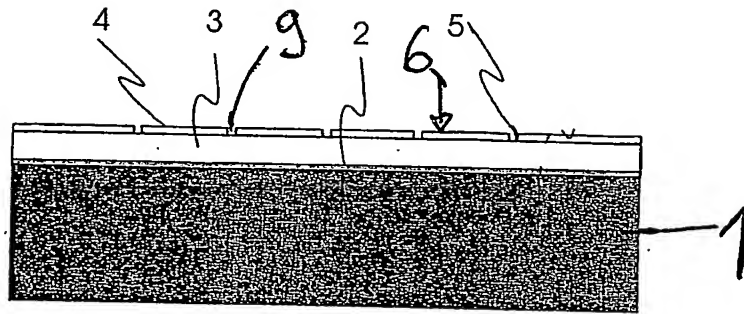
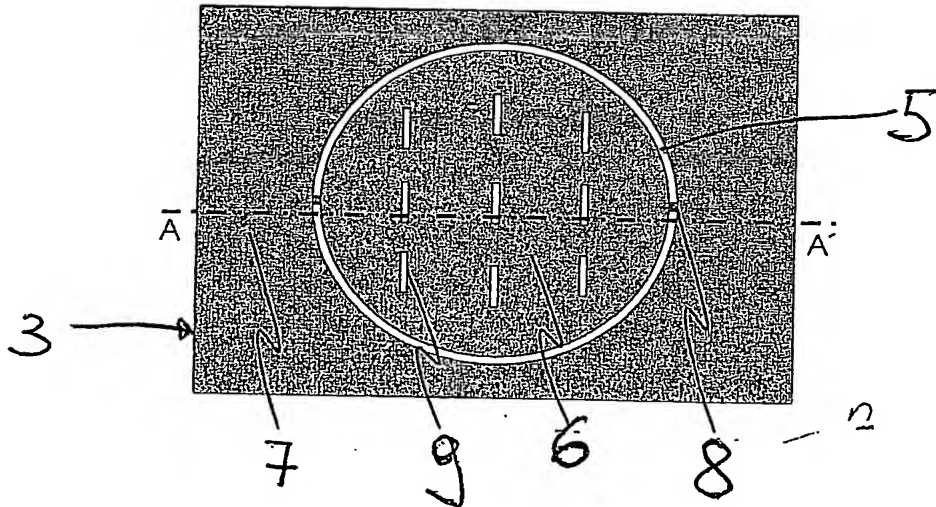
Fig. 1A*Fig. 1B*

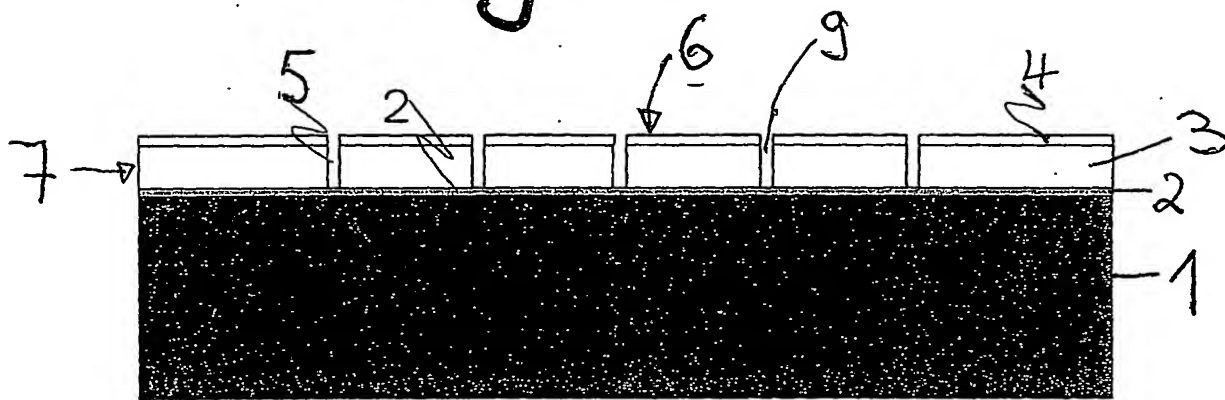
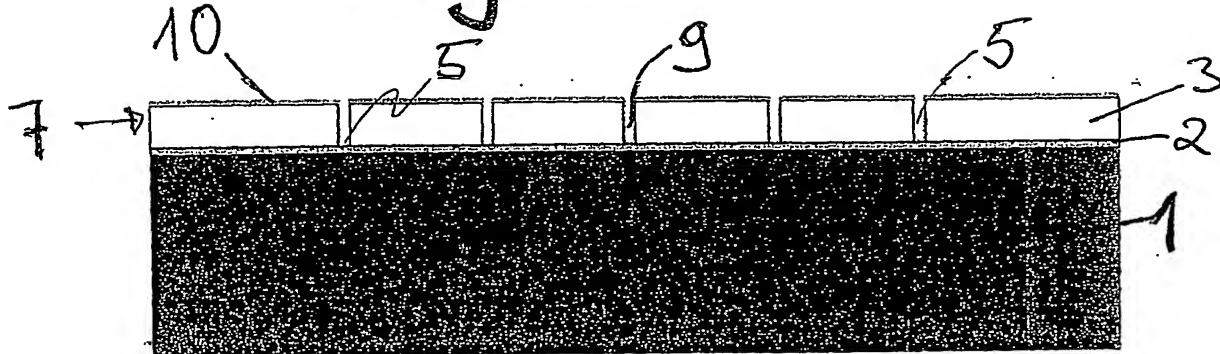
Fig. 2*Fig. 3*

Fig. 4

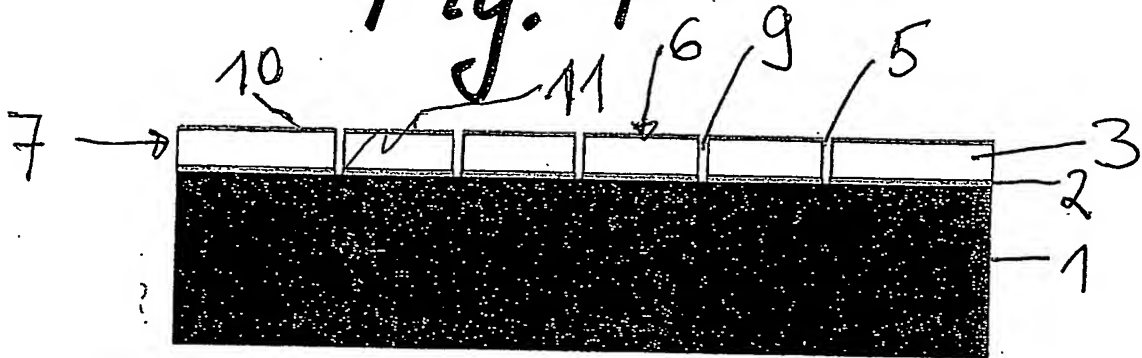


Fig. 5

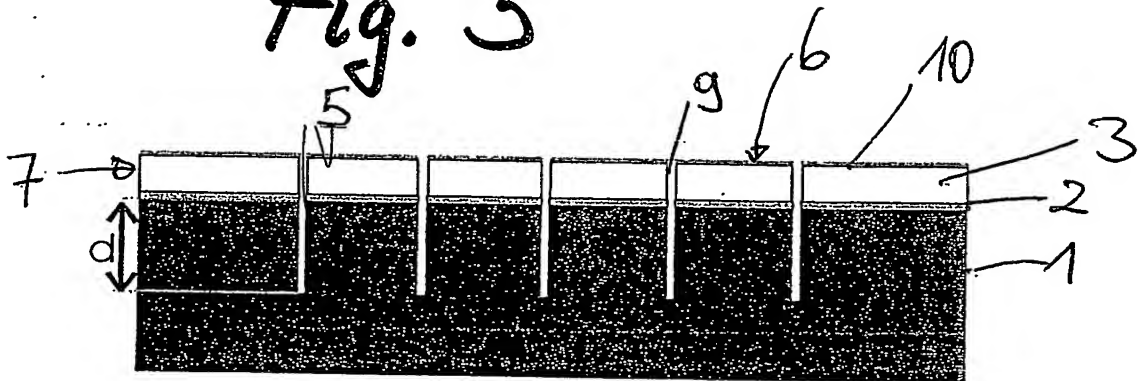


Fig. 6

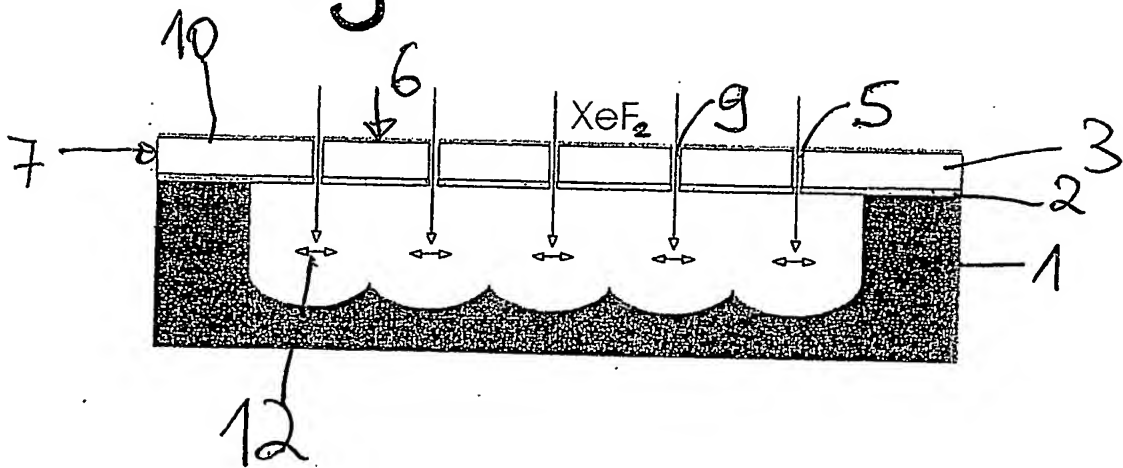


Fig. 7

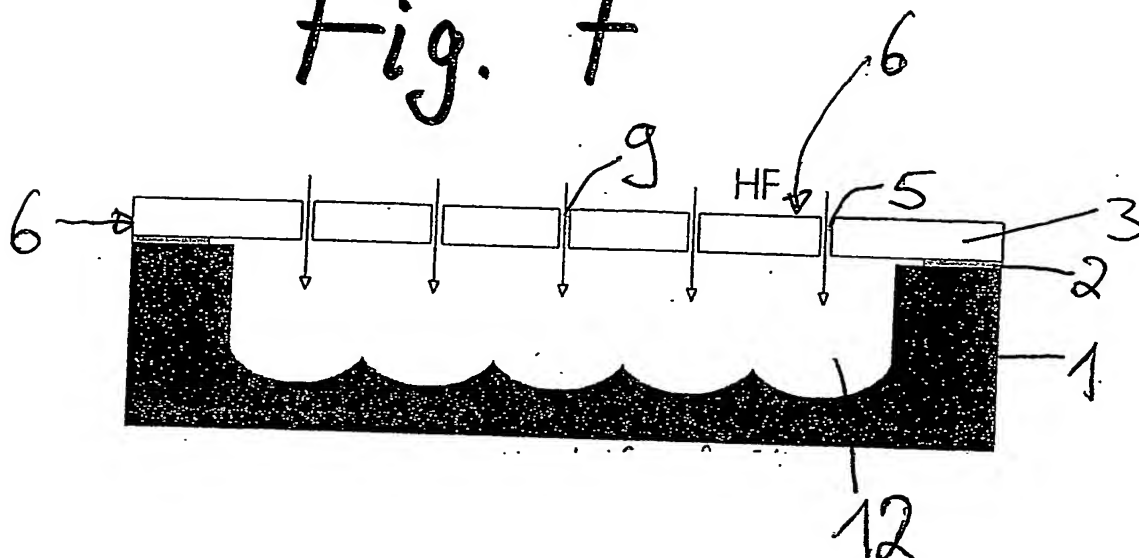
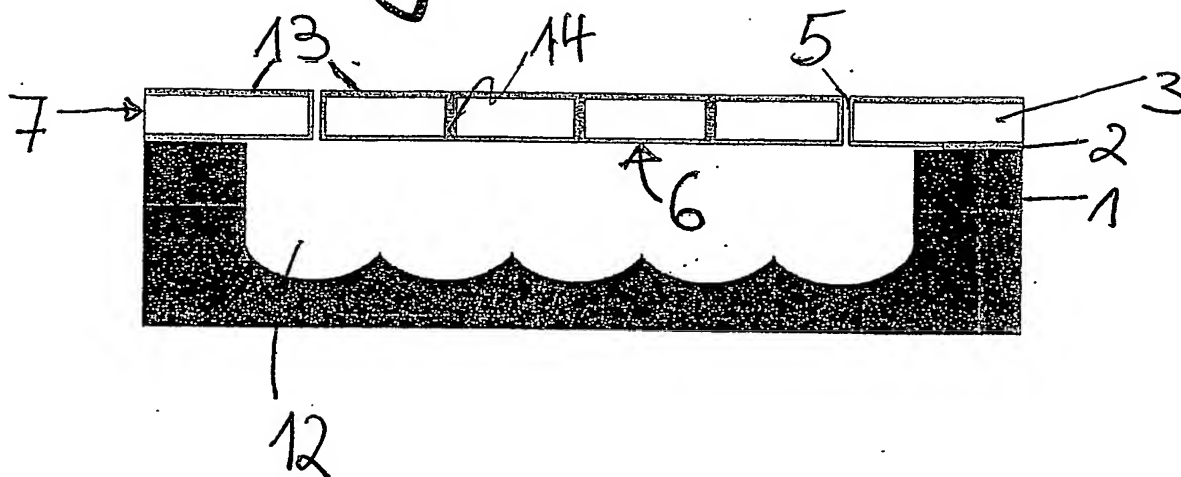


Fig. 8



Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingspiegelvorrichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingspiegelvorrichtung, durch Freilegen eines vertikal auslenkbaren, insbesondere verkippbaren, Inselbereiches aus Silizium mittels eines Ätzprozesses in einer unter dem Inselbereich liegenden Siliziumsubstratschicht.

Ein derartiges Verfahren ist bereits sowohl aus der Offenlegungsschrift DE 197 57 197 A1 wie aus der Patentschrift US 5,198,390 bekannt, auf die weiter unten noch näher eingegangen wird.

Obwohl auf beliebige mikromechanische Vorrichtungen und Strukturen, insbesondere optische Schalter und Lichtmodulatoren für Displays, anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die ihr zu Grunde liegende Problematik in Bezug auf eine in der Technologie der Silizium-Oberflächenmikromechanik herstellbare mikromechanische Schwingspiegelvorrichtung erläutert.

Mikromechanische Schwingspiegelvorrichtungen werden beispielsweise in der integrierten Optik eingesetzt, um den Weg von Lichtstrahlen zwischen einzelnen oder in einem Array angeordneten Lichtwellenleitern (optischen Fasern) umzuschalten. Derartige Schwingspiegelvorrichtungen sind in verschiedenen Designvarianten bekannt und verfügen über einen steuerbaren – im Spiegel integrierten oder neben dem Spiegel auf dem gleichen Chip angeordneten – Antrieb, der die Verkippbewegungen der Spiegeloberfläche und damit die optischen Schaltvorgänge generiert.

Diese Verkippbewegungen, bei denen der bewegliche, mikromechanisch freigelegte Teil der Schwingspiegelvorrichtung, also der Inselbereich – dessen Oberseite die Spiegeloberfläche bildet –, Torsionsschwingungen ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, dass ein Teil des Inselbereiches in den freigeätzten Bereich der Siliziumsubstratschicht hineinragt, setzen, je nach der Größe des gewünschten Kippwinkels, einen tiefgehenden Freiraum unter dem Inselbereich voraus. Der freigeätzte Bereich muss natürlich auch lateral mindestens die Abmessungen des Inselbereiches aufweisen.

Große Auslenkungen senkrecht zur Chipfläche, wie sie für Schwingspiegelvorrichtungen oder andere optische Bauelemente in der Mikromechanik (optical MEMS) erforderlich sind, können bisher nicht in Oberflächenmikromechanik hergestellt werden, da die üblichen eingesetzten Opferschichten bzw. Ätztechniken nur die Bewegung der freigelegten Strukturen um wenige Mikrometer senkrecht zu Oberfläche, entsprechend einem für viele Anwendungen zu geringen Kippwinkel von nur wenigen Grad, erlauben.

Optische Bauelemente mit großen vertikalen Auslenkungen, insbesondere Schwingspiegelvorrichtungen, werden deshalb derzeit, wie beispielsweise aus der oben zitierten DE 197 57 197 A1 bekannt, meist dadurch erzielt, dass die Spiegelstrukturen von der Wafer-Vorderseite strukturiert und mit Methoden der Volumen- (Bulk) Mikromechanik von der Rückseite der Träger-substrate gelöst werden. Dabei wird in der Regel SOI-Material verwendet und es ist erforderlich, die Siliziumsubstratschicht von der Rückseite her mittels einer anisotropen Nassätzung bis zur oberen Siliziumschicht (bzw. Oxidschicht) durchzuätzen, während das laterale Freilegen des Inselbereiches – vor oder nach der Nassätzung – durch ein Trockenätzverfahren erfolgt.

35

Ein Vorderseiten-Tiefenätzverfahren, mit dem mikromechanische Strukturen lateral und vertikal freilegbar sind, ist aus der

- eingangs genannten US 5,198,390 bekannt. Der dortige, so genannte SCREAM-Prozess (single crystal reactive etch and metallization process) geht von einem einheitlichen, also nicht in separate Funktions- und Opferschichten unterteilbaren, einkristallinen Silizium-Wafer aus, bei dem alle Strukturierungs- und Tiefenätz-Schritte durchgehend mittels reaktivem Ionen-Ätzen (RIE) vorgenommen werden. Dabei wird zunächst die Ätzmaske durch RIE-Ätzen strukturiert, anschließend werden die entsprechenden Grabenstrukturen im Wafer durch RIE-Tiefenätzen erzeugt, dann wird durch selektives Maskieren der Seitenwände der Gräben die freizulegende Struktur definiert, und schließlich wird der Substratbereich unterhalb der selektierten (Insel)Struktur durch vollständiges Unterätzen mittels RIE freigelegt. Der SCREAM-Prozess zeichnet sich einerseits durch eine hohe Prozesseinheitlichkeit aus, andererseits erfolgt das Unterätzen mit einer prozesstypisch geringen Ätzrate, die sich insbesondere bei breiten selektierten (Insel)Strukturen negativ auswirkt. Besonders problematisch im Hinblick auf Anwendungen insbesondere bei Schwingungsspiegelvorrichtungen erscheint die Tatsache, dass die – ungeschützte – Unterseite der selektierten (Insel)Struktur beim Unterätzen des darunter liegenden Bereiches des Siliziumssubstrats zum Teil erheblich mit angegriffen wird.
- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Herstellungsverfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das sich insbesondere auf oberflächenmikromechanische Prozessschritte beschränkt.
- Ein Verfahren der eingangs genannten Art löst diese Aufgabe durch die Schritte:
- Bereitstellen eines SOI- oder EOI-Substrats mit einer Si-Funktionsschicht, welche unter Zwischensetzen einer Oxidschicht auf einer Siliziumsubstratschicht vorgesehen ist, deren oberer Bereich als Opferschicht vorgesehen ist ;
 - Bilden mindestens eines durch die Funktionsschicht bis zur Oxidschicht reichenden Grabens durch einen ersten a-

- nisotropen Plasmaätzschritt, der den späteren Inselbereich lateral gegenüber der Funktionsschicht freilegt ;
- Erzeugung einer mindestens die Seitenwände des Grabens bedeckenden Passivierungsschicht und anschließendes Öffnen des Grabenbodens bis zur Siliziumsubstratschicht durch ein physikalisches gerichtetes Ätzverfahren ;
 - Tiefenätzen des Grabens mit einem zweiten anisotropen Plasmaätzschritt vom geöffneten Grabenboden aus bis in eine vorbestimmte Tiefe der Siliziumsubstratschicht, wobei bei dieser Plasmaätzschritt die Tiefe der Opferschicht definiert ; und
 - Durchführen eines isotropen Opferschichtätzschrittes zum Entfernen eines Bereiches der Opferschicht unter dem Inselbereich durch laterales, vom Graben ausgehendes Unterätzen der Siliziumsubstratschicht, derart, dass der Inselbereich freigelegt und vertikal beweglich gemacht wird.

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht zunächst darin, von der Vorderseite eines SOI- bzw. EOI (Epipoly on insulator)-Substrats aus in zwei aufeinander folgenden, getrennten Tiefenätzschritten bis in die gewünschte Tiefe der Siliziumsubstratschicht vorzudringen und diese teilweise – genauer: in ihrem oberen, oxidschichtnahen Bereich – als Opferschicht zum vertikalen Freilegen der oberhalb der Oxidschicht in der Funktionsschicht positionierten Inselstrukturen zu verwenden. Das erfindungsgemäße Konzept eines Opferschichtprozesses zu Erzeugung großer vertikaler Auslenkungen basiert auf rein oberflächenmikromechanischen Prozessschritten.

Gemäß der Erfindung wird in einem ersten Schritt eine (Spiegel)struktur mit einem Tiefenätzverfahren in SOI bzw. EOI erzeugt. Hierfür kann jedes für die Funktionsschicht geeignete anisotrope Plasmaätzverfahren eingesetzt werden, bevorzugt jedoch das aus der Patentschrift DE 42 41 045 C 1 bekannte fluorbasierte Si-Tiefenätzenverfahren, welches alternierend

aufeinander folgende getrennte Ätz- und Polymerisationsschritte umfasst. Nähere Einzelheiten können dieser Patentschrift entnommen werden. Der Ätzstopp findet auf der Oxidschicht statt.

5

Nach dem ersten Tiefenätzschritt wird die (Spiegel)Struktur mit einer weiteren Schicht passiviert. Die Passivierung wird in den Strukturgräben der (Spiegel)struktur geöffnet. Es folgt ein zweiter Tiefenätzschritt, mit dem die Opferschicht
10 – hier: der oxidschichtnahe, obere Bereich der Siliziumsubstratschicht – in die Tiefe erschlossen wird. Die Tiefe der Opferschicht wird also erfindungsgemäß im Wesentlichen (d. h. bis auf die bei den involvierten Ätzungen prozesstypisch auftretenden Ungenauigkeiten) durch einen definierten zweiten
15 Tiefenätzprozess eingestellt. Um die (Spiegel)Struktur vollständig zu lösen, schließt sich ein isotroper lateraler Trockenätzschritt an.

Die Erfindung ermöglicht die Verwendung bekannter Prozesse
20 der Halbleitertechnologie und eine durchgängige Vorderseiten-Prozessierung um mikromechanische Vorrichtungen zu realisieren, die große Auslenkungen mit einer Bodenfreiheit von ca. 1 bis 200 μm zulassen. Des Weiteren ist eine hohe Prozesskontrolle, insbesondere eine exakte Tiefeneinstellung auf $\pm 5\%$,
25 möglich. Ein besonderer Vorteil des Verfahrens sind die hohen vertikalen und lateralen Ätzraten.

Eine durch die Verwendung von EOI-Substrat gegebene gute Kontrolle des Stressgradienten (Spiegeloberseite/-unterseite) in
30 der Funktionsschicht ermöglicht eine hohe Auflösung bzw. eine einstellbare Wölbung der Spiegeloberfläche in optischen Systemen. Ferner sind erfindungsgemäß relativ dünne Spiegel (Größenordnung: $< 10 \mu\text{m}$, im Vergleich zu 50 μm Dicke der Funktionsschicht bei von der Wafer-Rückseite her durchgeätzten Substraten) möglich (Epipoly, LPCVD-Si, Oxidschichten oder Metallschichten als ursprüngliches, bzw. nachträglich als
35 weitere Schicht(en) abgeschiedenes, Spiegelmaterial). Auf

Grund dieser geringen Dicke des Spiegels und der dementsprechend geringen Masse können hohe Eigenfrequenzen und damit eine hohe Schaltgeschwindigkeit optischer Bauelemente erreicht werden.

5

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Kombination des erfindungsgemäßen Opferschichtprozesses mit weiteren Herstellungsschritten, beispielsweise zur Erzeugung von weiteren Funktionsebenen ober- oder unterhalb der Spiegelstrukturebene und zusätzlicher Opferschichttechnik (z. B. Gasphasenätzen von Oxiden), etwa für die Herstellung von Antriebsstrukturen (z. B. Elektroden) in zweiter Epipoly-Strukturebene bzw. von dünnen Torsionsfedern. Das Verfahren gemäß der Erfindung kann Teil eines komplexen Gesamtprozesses sein, in welchem im Substrat zum Beispiel vergrabene Leiterbahnen und/oder weitere Halbleiterstrukturen erzeugt werden.

10

15

20

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in Anspruch 1 angegebenen Herstellungsverfahrens.

25

30

Gemäß einer besonders bevorzugten Weiterbildung erfolgt der Opferschichtätzschritt selektiv zur Passivierungsschicht und zur Oxidschicht. Dies hat entscheidende Vorteile für die Präzisionseigenschaft des Prozesses. Zum einen können dünne Spiegelstrukturen erzeugt werden, da diese im folgenden Opferschichtätzschritt nicht angegriffen, d. h. nicht verbraucht werden. Diese inerten Eigenschaften sind insbesondere auch beim Herstellen relativ großer (2-3 mm) Inselbereiche wichtig, da der isotrope Gasphasenätzschritt, ausgehend von einem einzigen peripheren Graben, eine nicht vernachlässigbare Zeit braucht, um sich bis zur Mitte des zu erzeugenden Freiraums vorzuarbeiten.

35

Um diese Zeit zu verkürzen, bzw. um die passivierten Funktionsstrukturen keinem allzu lang andauernden Ätzangriff auszusetzen, ist es vorteilhaft, dass innerhalb des Inselbereiches

weitere Grabenstrukturen vorgesehen und bis in Opferschichttiefe geätzt werden, so dass der Opferschichtätzschritt gleichzeitig von allen Gräben ausgehend – schneller – durchführbar ist. Auf Grund der Passivierungsschicht und der hohen isotropen Ätzzraten sind, im Vergleich zum SCREAM-Verfahren, jedenfalls vorteilhafterweise erheblich weniger derartige Perforationslöcher erforderlich.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens besteht in der Herstellung einer mikromechanischen Schwingungsvorrichtung. Dabei ist der Inselbereich über einen oder mehrere Verbindungsstege mit dem den Inselbereich umgebenden Bereich der Funktionsschicht verbunden, so dass der freigelegte Inselbereich um den einen oder die mehreren Verbindungsstege Bewegungen, vorzugsweise Torsionsschwingungen, ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, dass ein Teil des Inselbereiches in den freigeätzten Bereich der Siliziumsubstratschicht hineinragt.

Diese Ausgestaltung kann noch weiter verbessert werden, indem oberhalb des Grabens und der weiteren, als Perforationslöcher ausgebildeten, Grabenstrukturen mindestens eine weitere, insbesondere die Reflektivität der Spiegeloberfläche verbessernde, Schicht derart abgeschieden wird, dass die Perforationslöcher verschlossen werden, nicht aber der den Inselbereich vom umgebenden Bereich trennende Graben.

Dies kann in besonders vorteilhafter Weise dadurch erreicht werden, dass der den Inselbereich lateral freilegende Graben breiter als die weiteren Grabenstrukturen ausgebildet wird.

Prozesstechnisch ist es gemäß einer weiteren Weiterbildung des Verfahrens vorteilhaft, dass der Opferschichtätzschritt durch chemisches Trockenätzen mit einem der Gase XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 erfolgt.

Die Passivierungsschicht kann, gemäß einer weiteren Weiterbildung, durch CVD-Abscheidung oder durch thermische Oxidation aufgebracht werden.

- 5 Gemäß einer weiteren Weiterbildung des Verfahrens ist es vorteilhaft, die Passivierungsschicht und/oder die Oxidschicht nach dem Opferschichtätzschritt, insbesondere durch eine chemische Trockenätzung mit dem Gas $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$, wieder zu entfernen.
- 10 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt

15 Figur 1 A und Figur 2 bis 8 eine schematische Querschnittsdarstellung (Querschnitt entlang AA' in Figur 1 B) des Herstellungsprozesses für eine Schwingspiegelvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung,

20 Figur 1 B eine Draufsicht auf den Schwingspiegel (ohne Antrieb) im Prozessstadium von Figur 1 A.

25 Figur 1 A zeigt beispielshalber eine EOI-Schichtenfolge mit einer Siliziumsubstratschicht 1 (n oder p dotiert, (100) oder (111) orientiert), einer Oxidschicht 2 aus thermischen oder CVD-Oxid, die ca. 50 nm bis 1 μm dick ist, einer Si-Funktionsschicht 3 aus Epipoly (oder, bei SOI, aus Polysilizium), und einer Ätzmaske 4, beispielsweise aus Lack oder Oxid.

30 Figur 1 B zeigt den (in diesem Prozessstadium jeweils nur in der Maskenstruktur 4 vorhandenen) Graben 5, der den Inselbereich 6 von dem umgebenden – unbeweglichen – Bereich 7 der Funktionsschicht 3 abgrenzt. Erkennbar sind ferner Torsionsfedern 8, an denen der Inselbereich 6, also die Spiegelstruktur, aufgehängt ist. Dadurch ist die Drehachse für den späteren Schwingspiegel definiert. Als Torsionsfedern 8 können

35

Verbindungsstege, also schmale stehengelassene Bereiche der Funktionsschicht 3 verwendet werden.

Die Oberseite der Spiegelstruktur 6 kann, wie ebenfalls aus den Figuren 1 A und 1 B hervorgeht, je nach lateraler Ausdehnung, mit mehr oder weniger vielen Perforationslöchern 9 versehen werden, auf die weiter unten bei der Beschreibung von Figur 8 noch näher eingegangen wird. Wenn derartige Perforationslöcher 9, also weitere (zukünftige) Grabenstrukturen, vorgesehen werden, so werden sie im Folgenden in die gleichen Tiefenätz- bzw. Passivierungsschritte einbezogen, wie der zu erzeugende Graben 5.

Das Ergebnis des nächsten Prozessschrittes, also nach Erfolgen des ersten anisotropen Plasmaätzschrittes, ist in Figur 2 gezeigt und lässt die in der Funktionsschicht 3 erzeugten Grabenstrukturen 5 und 9 erkennen. Dieser Ätzprozess verläuft selektiv zu Oxid und stoppt abrupt an der Oxidschicht 2. Der äußere Graben 5, der den beweglichen Inselbereich 6 von den feststehenden umgebenden Bereichen 7 separiert, sollte geringfügig breiter sein als die Perforationslöcher 9, wie unten, bei Figur 8, näher erläutert wird.

Figur 3 zeigt das Prozessstadium nach Abscheidung einer Passivierungsschicht 10 (auch und gerade in den Grabenstrukturen 5 und 9, dort jedoch nicht dargestellt). Diese Passivierungsschicht 10 wird bei einem nachfolgenden Opferschichtätzschritt, beispielsweise mit mindestens einen der Gase XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 , nicht oder nur in sehr geringem Maß angegriffen. Die Abscheidung erfolgt bevorzugt mit an sich bekannten Verfahren, wie thermische Oxidation, LPCVD (low pressure), PECVD (Plasma enhanced chemical vapour deposition) oder auch Ozon-unterstützte TEOS-Abscheidung. Außer der typischen Siliziumoxid-Passivierungsschicht können auch andere anorganische Passivierungsschichten verwendet werden (zum Beispiel Metalle, Nitride SiC , etc.), die eine ausreichende, stetige und im Idealfall homogene Kantenbedeckung im Bereich

der Seitenwand aufweisen und in einem späteren Schritt selektiv gegenüber dem Inselbereich 6 geätzt werden können.

Bei der Wahl der in Frage kommenden Abscheideverfahren ist in jedem Fall darauf zu achten, dass in den Böden der Ätzgräben 5 und 9 nur eine geringe, später mit relativ geringem Aufwand wieder entfernbare, Deposition stattfindet.

Figur 4 zeigt das nächste Prozessstadium, nachdem im Bereich der Grabenböden die Oxidschicht 2 (und die Passivierungsschicht 10) durch ein physikalisches gerichtetes Ätzverfahren geöffnet wurden, derart, dass Öffnungen 11 zur Siliziumsubstratschicht 1 hin entstehen. Bei dieser Ätzung ist darauf zu achten, die Seitenwandpassivierung nicht zu zerstören. Diese Forderung kann durch ein RIE oder ein anderes Verfahren mit einer geeigneten, senkrecht zur Wafer-Oberfläche wirkenden Plasmaführung, erfüllt werden.

Figur 5 zeigt das Verfahrensstadium, nachdem der Graben 5 und die weiteren Grabenstrukturen 9 mit einem zweiten anisotropen Plasmaätzschritt in die gewünschte Tiefe d geätzt wurden, wobei durch diese Tiefe d im Wesentlichen die Tiefe des anschließenden (vgl. Figur 6) Opferschichtätzprozesses vorgegeben wird.

Figur 6 zeigt das Prozessstadium, in welchem durch einen isotropen Silizium-Ätzschritt die Grabenstruktur 5 und 9 lateral geätzt wird. Durch die eingebrachte Passivierungsschicht 10 und die Oxidschicht 2 bleibt die Spiegelstruktur 6 trotz des massiven Unterätzens der Siliziumsubstratschicht 1 unverändert. Der Ätzprozess kann beispielsweise mit den Gasen XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 im Wege des Gasphasenätzens mit relativ hoher Ätzrate durchgeführt werden. Die Pfeile in Figur 6 deuten das Eindringen von XeF_2 bis in die Tiefe d der Siliziumsubstratschicht 1 an. Bei großen lateralen Breiten (2 bis 3 mm) der Inselstruktur 6 ist es vorteilhaft, wenn diese durch

einen sich von mehreren Grabenstrukturen 5 und 9 gleichzeitig ausbreitenden Ätzprozess freigelegt wird.

5 Durch den isotropen Ätzprozess wird ein definierter Bereich 12 unterhalb des Inselbereiches 6 entfernt. Prinzipiell kann der Inselbereich 6 nunmehr in die dabei in der Siliziumsubstratschicht 1 zurückgelassene Ausnehmung hinein ausgelenkt werden. Dies bringt keine Probleme hinsichtlich der mechanischen Stabilität mit sich, da, selbst bei einer Ätztiefe d
10 von 200 μm , die Siliziumsubstratschicht 1, die ca. 600–700 μm dick ist, mit ausreichender Substanz erhalten bleibt.

Bei Bedarf ist es, wie in Figur 7 dargestellt, ohne weiteres möglich, die Passivierungsschicht 10 (und die Oxidschicht 2)
15 nach dem isotropen Silizium-Opferschichtätzschritt mit einem bekannten Verfahren, beispielsweise einer chemische Trockenätzung mit dem Gas $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$, wieder zu entfernen. Dies ist durch die Pfeile in Figur 7 angedeutet.

20 Ebenso ist es, wie in Figur 8 dargestellt, bei Bedarf möglich, eine oder mehrere zusätzliche Schichten 13 auf der – gegebenenfalls noch durch die weiteren Grabenstrukturen 9 perforierten – Spiegelfläche, also auf der Oberseite des Inselbereiches 6, abzuschneiden. Dadurch kann beispielsweise die
25 Reflektivität der Spiegeloberfläche verbessert werden. Als Abscheideprozess wird bevorzugt ein Verfahren gewählt, bei dem eine konforme Kantenbedeckung eintritt (zum Beispiel LPCVD von Si oder Ge oder SiGe, oder eine Metallisierung) und bei dem es zum Verschluss 14 der ggf. vorhandenen schmalen
30 Perforationslöcher (Breite $< 4 \mu\text{m}$) kommt. Beim Design der Spiegelschicht 13 muss darauf geachtet werden, dass der Graben 5, der bewegliche 6 von festen Strukturen 7 trennt, breiter ist als die Perforationslöcher 9. Dadurch kann im Bereich des Grabens 5 ein unerwünschter, die Funktion des Schwing-
35 spiegels 6 beeinträchtigender Verschluss vermieden werden. Für etwaige weitere Oberseiten-Prozessschritte kann demnach

nach bzw. durch die Beschichtung 13 eine geschlossene Spiege-
geloberfläche angeboten werden.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand eines be-
vorzugten Ausführungsbeispiels beschrieben wurde, ist sie
5 darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modi-
fizierbar.

Beispielsweise können an sich bekannte, in den Figuren nicht
10 dargestellte, weitere Prozessschritte vorgesehen werden, um
ein als elektrostatischen Antrieb wirkendes Aktorelement zur
Bewegung des Schwingspiegels 6 zu realisieren. Dieses Aktore-
lement kann beispielsweise einen von außen mit einer Spannung
beaufschlagbaren Kondensator umfassen, dessen eine Elektrode
15 am Grund der durch den entfernten Bereich 12 zurückgelassenen
Ausnehmung, und dessen andere Elektrode von der Unterseite
der Inselstruktur 6 gebildet wird. Es ist jedoch auch eine
räumliche Trennung von Spiegelement 6 und Aktorelement (auf
einem Chip) möglich.

20 Mit dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren lassen sich
mikromechanische Schwingspiegel für sehr große Amplituden zum
Einsatz in Baulasern, Barcode-Lasern, Raumüberwachung, Sitz-
belegungserkennung in Kfz o. ä., herstellen.

25 Schließlich wurde in dem obigen Ausführungsbeispiel eine
Spiegelstruktur gezeigt, doch ist die Erfindung auch auf
Strukturen anwendbar, bei denen der Inselbereich 6 nicht ein
Spiegelement, sondern ein sonstiger mechanischer Aktor, wie
30 zum Beispiel ein Stellglied oder Ähnliches ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere einer mikromechanischen Schwingspiegelvorrichtung, durch Freilegen eines vertikal auslenkbaren, insbesondere verkippbaren, Inselbereiches (6) aus Silizium mittels eines Ätzprozesses in einer unter dem Inselbereich liegenden Siliziumsubstratschicht (1),

gekennzeichnet durch die Schritte:

- 10 - Bereitstellen eines SOI- oder EOI-Substrats mit einer Si-Funktionsschicht (3), welche unter Zwischensetzen einer Oxidschicht (2) auf einer Siliziumsubstratschicht (1) vorgesehen ist, deren oberer Bereich als Opferschicht vorgesehen ist ;
- 15 - Bilden mindestens eines durch die Funktionsschicht (3) bis zur Oxidschicht (2) reichenden Grabens (5) durch einen ersten anisotropen Plasmaätzschritt, der den späteren Inselbereich (6) lateral gegenüber der Funktionsschicht (3) freilegt ;
- 20 - Erzeugung einer mindestens die Seitenwände des Grabens (5) bedeckenden Passivierungsschicht (10) und anschließendes Öffnen des Grabenbodens bis zur Siliziumsubstratschicht (1) durch ein physikalisches gerichtetes Ätzverfahren ;
- 25 - Tiefenätzen des Grabens (5) mit einem zweiten anisotropen Plasmaätzschritt vom geöffneten Grabenboden (11) aus bis in eine vorbestimmte Tiefe der Siliziumsubstratschicht (1), wobei dieser Plasmaätzschritt die Tiefe der Opferschicht definiert ; und
- 30 - Durchführen eines isotropen Opferschichtätzschrittes zum Entfernen eines Bereiches (12) der Opferschicht unter dem Inselbereich (6) durch laterales, vom Graben (5) ausgehendes Unterätzen der Siliziumsubstratschicht (1), derart, dass der Inselbereich (6) freigelegt und vertikal
- 35 beweglich gemacht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass der Opferschichtätzschritt selektiv zur Passivierungsschicht (10) und zur Oxidschicht (2) erfolgt.

5 3. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Schwing-
spiegelvorrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,

- dass der Inselbereich (6) über einen oder mehrere Verbindungsstege (8) mit dem den Inselbereich (6) umgebenden Bereich (7) der Funktionsschicht (3) verbunden ist,
- 10 - so dass der freigelegte Inselbereich (6) um den einen oder die mehreren Verbindungsstege (8) Bewegungen, vorzugsweise Torsionsschwingungen, ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, dass ein Teil des Inselbereiches (6) in den freigeätzten Bereich (12) der Silizium-
- 15 substratschicht (1) hineinragt.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass als Verbindungsstege (8) schmale
20 stehengelassene Bereiche der Funktionsschicht (3) verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des Inselbereiches (6)
25 weitere Grabenstrukturen (9) vorgesehen und bis in Opferschichttiefe geätzt werden, so dass der Opferschichtätzschritt gleichzeitig von allen Gräben (5, 9) ausgehend durchführbar ist.

30 6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass oberhalb des Grabens (5) und der weiteren, als Perforationslöcher ausgebildeten, Grabenstrukturen (9) mindestens eine weitere, insbesondere die Reflektivität der Spiegelober-

35 fläche verbessernde, Schicht (13) derart abgeschieden wird, dass die Perforationslöcher (9) verschlossen werden, nicht

aber der den Inselbereich (6) vom umgebenden Bereich (7) trennende Graben (5).

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,

- 5 dadurch gekennzeichnet, dass der den Inselbereich (6) lateral freilegende Graben (5) breiter als die weiteren Grabenstrukturen (9) ausgebildet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

- 10 dadurch gekennzeichnet, dass der Opferschichtätzschritt durch chemisches Trockenätzen mit einem der Gase XeF_2 , ClF_3 , NF_3 oder BrF_3 erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

- 15 dadurch gekennzeichnet, dass die Passivierungsschicht (10) durch CVD-Abscheidung oder durch thermische Oxidation eingebracht wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

- 20 dadurch gekennzeichnet, dass die Passivierungsschicht (10) und/oder die Oxidschicht (2) nach dem Opferschichtätzschritt, insbesondere durch eine chemische Trockenätzung mit dem Gas $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$, wieder entfernt wird.

Fig. 1A

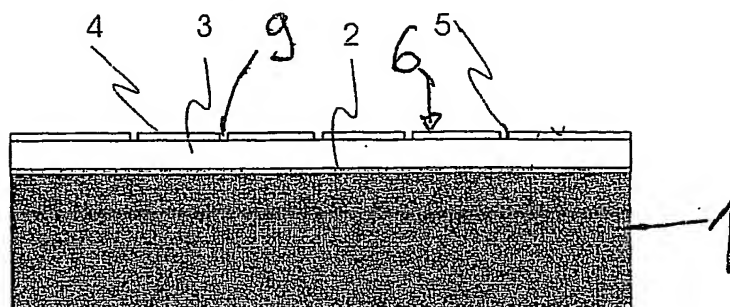


Fig. 1B

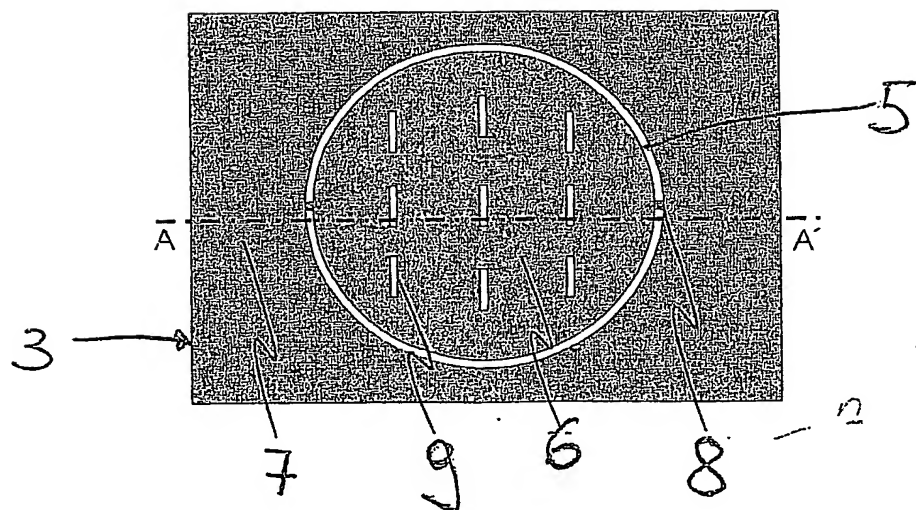


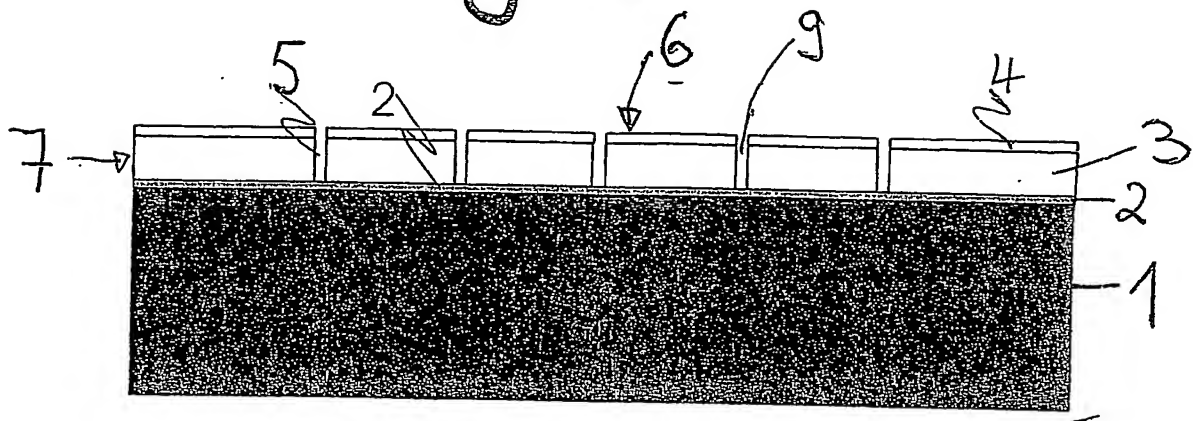
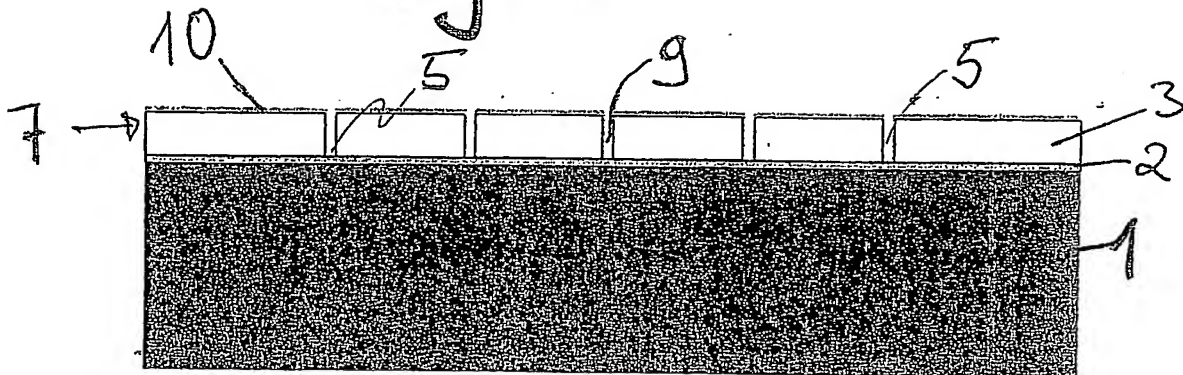
Fig. 2*Fig. 3*

Fig. 4

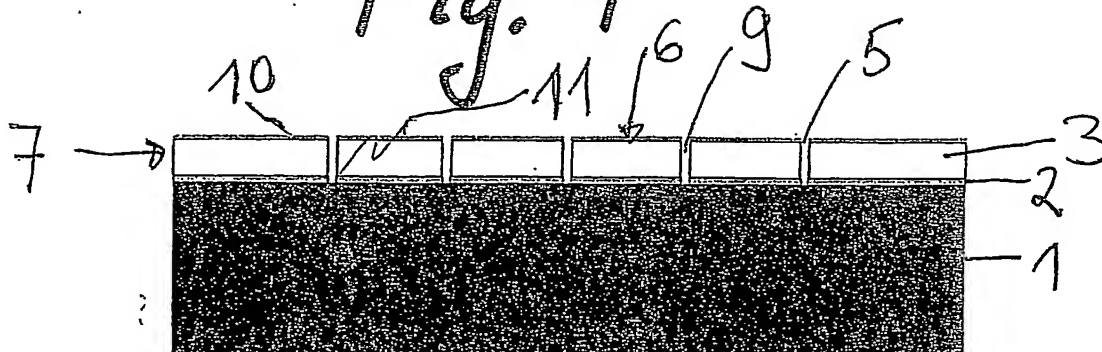


Fig. 5

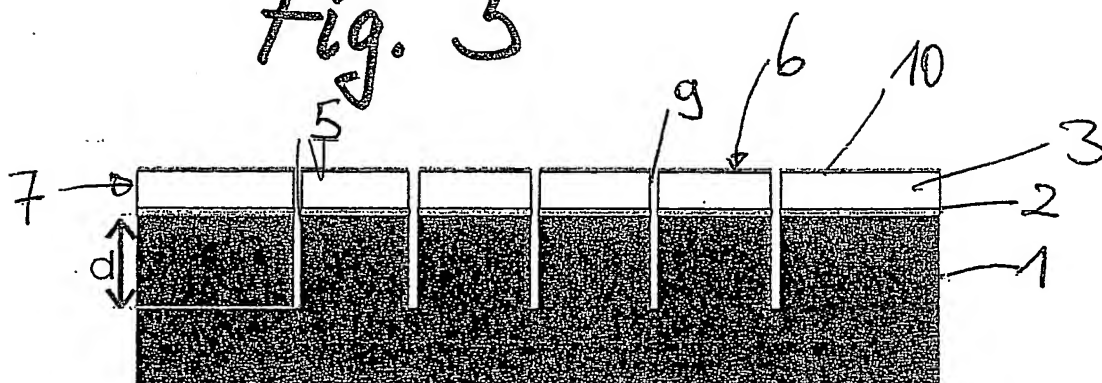


Fig. 6

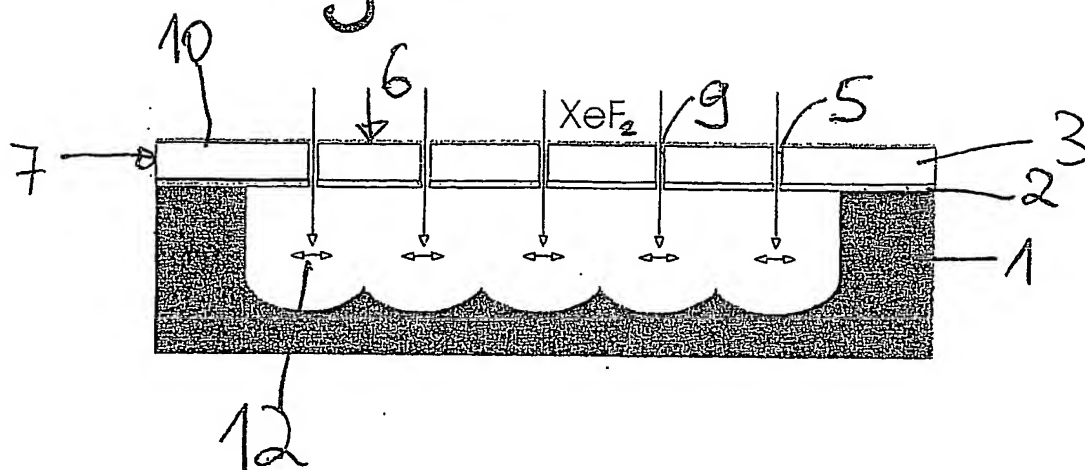


Fig. 7

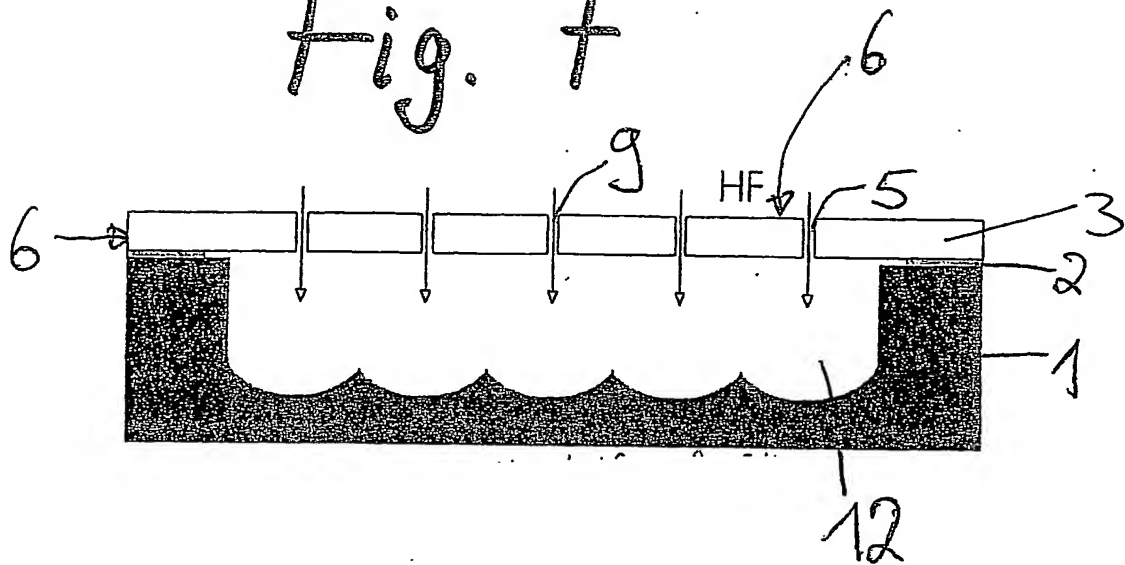
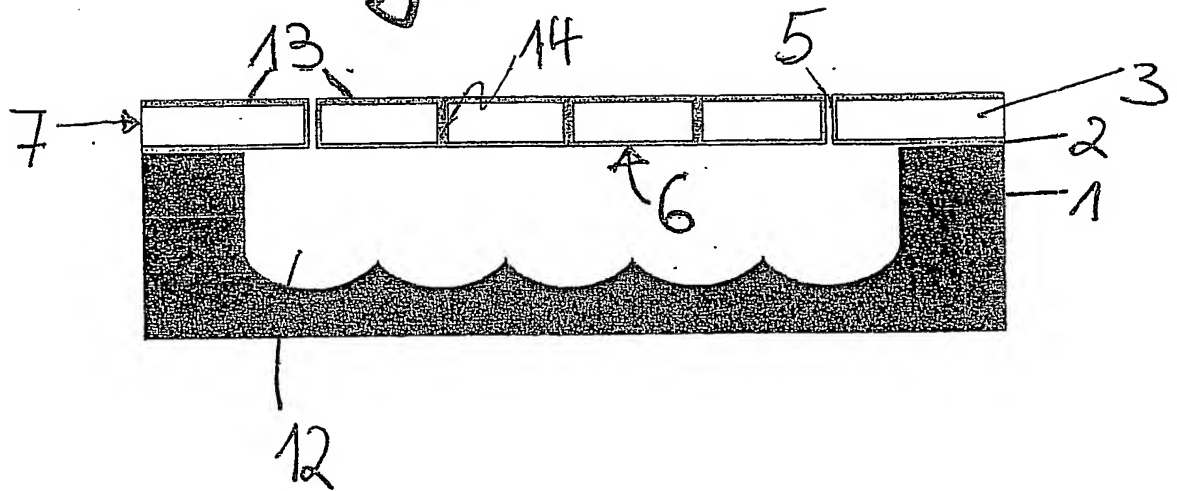


Fig. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/D 3/00550

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B81C1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B81C B81B G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 96 08036 A (BOER MEINT JELLE DE; ELWENSPOEK MICHAEL CURT (NL); JANSEN HENRICUS) 14 March 1996 (1996-03-14) page 11, line 2 -page 13, line 5; figure 2C	1,2,5
X	WO 02 12116 A (ANALOG DEVICES INC) 14 February 2002 (2002-02-14) page 5, line 12 -page 7, line 27; figures 2A-J	1-5,7,8, 10
X	DE 198 47 455 A (BOSCH GMBH ROBERT) 27 April 2000 (2000-04-27) figures 1-3	1,2,8,9
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 July 2003

Date of mailing of the international search report

21/07/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Götz, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/D/98/00550

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97 15066 A (BOSCH GMBH ROBERT; OFFENBERG MICHAEL (DE); LAERMER FRANZ (DE); LUT) 24 April 1997 (1997-04-24) figures 5A,5B	1,2
X	US 6 388 300 B1 (KANO KAZUHIKO ET AL) 14 May 2002 (2002-05-14) figure 58	1,2
A	DE 40 00 496 A (BOSCH GMBH ROBERT) 21 February 1991 (1991-02-21) figures 2A-2C	1

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 9608036	A	14-03-1996	AU WO	2683995 A 9608036 A1	27-03-1996 14-03-1996
WO 0212116	A	14-02-2002	AU WO US	8138101 A 0212116 A2 2002117728 A1	18-02-2002 14-02-2002 29-08-2002
DE 19847455	A	27-04-2000	DE WO EP JP	19847455 A1 0023376 A1 1062180 A1 2002527253 T	27-04-2000 27-04-2000 27-12-2000 27-08-2002
WO 9715066	A	24-04-1997	DE WO DE EP JP US	19539049 A1 9715066 A2 59605992 D1 0856143 A2 11513844 T 6214243 B1	24-04-1997 24-04-1997 16-11-2000 05-08-1998 24-11-1999 10-04-2001
US 6388300	B1	14-05-2002	JP DE	2000286430 A 10003066 A1	13-10-2000 03-08-2000
DE 4000496	A	21-02-1991	DE WO	4000496 A1 9103074 A1	21-02-1991 07-03-1991

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 B81C1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 7 B81C B81B G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 96 08036 A (BOER MEINT JELLE DE; ELWENSPOEK MICHAEL CURT (NL); JANSEN HENRICUS) 14. März 1996 (1996-03-14) Seite 11, Zeile 2 -Seite 13, Zeile 5; Abbildung 2C	1,2,5
X	WO 02 12116 A (ANALOG DEVICES INC) 14. Februar 2002 (2002-02-14) Seite 5, Zeile 12 -Seite 7, Zeile 27; Abbildungen 2A-J	1-5,7,8, 10
X	DE 198 47 455 A (BOSCH GMBH ROBERT) 27. April 2000 (2000-04-27) Abbildungen 1-3	1,2,8,9
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Juli 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/07/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Götz, A

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 97 15066 A (BOSCH GMBH ROBERT; OFFENBERG MICHAEL (DE); LAERMER FRANZ (DE); LUT) 24. April 1997 (1997-04-24) Abbildungen 5A,5B ----	1,2
X ----	US 6 388 300 B1 (KANO KAZUHIKO ET AL) 14. Mai 2002 (2002-05-14) Abbildung 58 ----	1,2
A	DE 40 00 496 A (BOSCH GMBH ROBERT) 21. Februar 1991 (1991-02-21) Abbildungen 2A-2C -----	1

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9608036	A	14-03-1996	AU 2683995 A WO 9608036 A1	27-03-1996 14-03-1996
WO 0212116	A	14-02-2002	AU 8138101 A WO 0212116 A2 US 2002117728 A1	18-02-2002 14-02-2002 29-08-2002
DE 19847455	A	27-04-2000	DE 19847455 A1 WO 0023376 A1 EP 1062180 A1 JP 2002527253 T	27-04-2000 27-04-2000 27-12-2000 27-08-2002
WO 9715066	A	24-04-1997	DE 19539049 A1 WO 9715066 A2 DE 59605992 D1 EP 0856143 A2 JP 11513844 T US 6214243 B1	24-04-1997 24-04-1997 16-11-2000 05-08-1998 24-11-1999 10-04-2001
US 6388300	B1	14-05-2002	JP 2000286430 A DE 10003066 A1	13-10-2000 03-08-2000
DE 4000496	A	21-02-1991	DE 4000496 A1 WO 9103074 A1	21-02-1991 07-03-1991